

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 10308534 A

(43) Date of publication of application: 17.11.98

(51) Int. Cl

H01L 33/00

H01L 21/28

(21) Application number: 09118315

(71) Applicant: SHOWA DENKO KK

(22) Date of filing: 08.05.97

(72) Inventor: MIKI HISAYUKI  
UDAGAWA TAKASHI  
OKUYAMA MINEO

(54) LIGHT TRANSMITTING ELECTRODE FOR LIGHT  
EMITTING SEMICONDUCTOR ELEMENT AND ITS  
MANUFACTURE

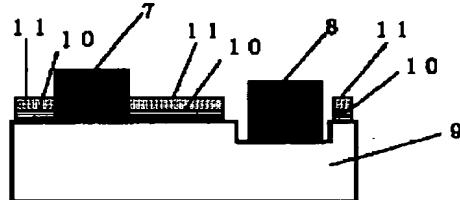
has the dark-gray color with blue tone and indicates  
the light transmitting property.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible of  
provide light transmitting property and to prevent ball  
up effectively by providing the first layer comprising  
Au and the like, which has the light transmitting  
property and can obtain ohmic contact, and the second  
layer comprising light transmitting metal oxide such as Mi.

SOLUTION: At first, a p-side electrode bonding pad 7  
comprising AuBe/Au layer structure is formed on a  
p-type GaN layer. Then, a first layer 10 comprising Au  
and a second layer 11 comprising the oxide of Ni are  
formed only in the region forming the light  
transmitting electrode on the p-type GaN layer. This  
thin film has the dark-gray color indicating metal  
gloss, and the light transmitting property is hardly  
observed. Then, the substrate undergoes heat treatment  
in an annealing furnace. The heat treatment is  
performed at the temperature of 550°C. As atmospheric  
gas, argon containing oxygen gas of 1% is made to flow,  
and the heat treatment is performed for 10 minutes. The  
light transmitting electrode of the taken-out substrate



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-308534

(43)公開日 平成10年(1998)11月17日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
H 0 1 L 33/00  
21/28

識別記号  
3 0 1

F I  
H 0 1 L 33/00  
21/28

E  
3 0 1 H

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平9-118315

(22)出願日 平成9年(1997)5月8日

(71)出願人 000002004

昭和電工株式会社

東京都港区芝大門1丁目13番9号

(72)発明者 三木 久幸

埼玉県秩父市大字下影森1505番地 昭和電工株式会社秩父研究所内

(72)発明者 宇田川 隆

埼玉県秩父市大字下影森1505番地 昭和電工株式会社秩父研究所内

(72)発明者 奥山 峰夫

千葉県千葉市緑区大野台1丁目1番1号

昭和電工株式会社総合研究所内

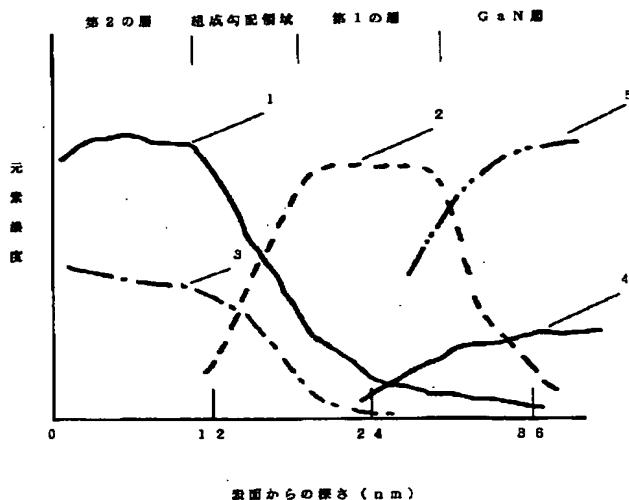
(74)代理人 弁理士 矢口 平

(54)【発明の名称】 発光半導体素子用透光性電極およびその作製方法

(57)【要約】

【課題】 透光性でかつボールアップを有効に防止し得る構造の発光半導体素子用の透光性電極とその透光性電極の作製方法を提供する。

【解決手段】 本発明に係わる発光半導体素子用透光性電極は、半導体表面に接して形成され、透光性でかつオーム接触が得られる、Au、Pt、Pd、Ni、Al、Tiからなる群より選ばれた、少なくとも1種類の金属あるいは2種類以上の金属の合金よりなる第1の層と、該第1の層上に形成された、Ni、Ti、Sn、Cr、Co、Zn、Cu、Mg、Inよりなる群より選ばれた少なくとも1種類の金属の酸化物を含む、透光性の金属酸化物よりなる第2の層とを有する。



## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、発光半導体素子に用いられる電極に係わり、特に発光半導体素子用の透光性の電極とその透光性電極の作製方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、短波長光発光素子用の半導体材料としてGaN系化合物半導体材料が注目を集めている。GaN系化合物半導体は、サファイア単結晶を始めとして、種々の酸化物基板やIII-V族化合物を基板として、その上に有機金属気相化学反応法(MOCVD法)や分子線エピタキシー法(MBE法)等によって形成される。サファイア基板等の電気的に絶縁体である基板を用いた素子では、GaN、GaP等の半導体基板を使用したIII-V族化合物半導体材料とは異なり、基板裏面に電極を設けることができない。よって、正、負一対の電極を発光素子の同じ面に形成する必要がある。

【0003】また、GaN系化合物半導体材料の特性として、横方向への電流拡散が小さいことがある。原因は、エピタキシャル結晶中に多く存在する基板から表面へ貫通する転位の存在であることが考えられるが、詳しいことは判っていない。この特性のため、電極を形成して通電発光させた場合でも、発光領域は電極直下に限定され電極の周囲には広がりにくい。したがって、発光領域は電極直下に限られ、従来の不透明な電極では発光は電極そのものに遮られて上方には取り出されず、発光強度が思うように向上しなかった。

【0004】以上のような問題点を解決するために、p型電極を素子の表面のほぼ全面に形成された非常に薄い金属よりなる透光性の電極とし、電極を通して上面から発光を取り出すという素子構造に関する技術が開示されている(特開平6-314822)。この特許公開公報には、電極材料として、例えば、Au、Ni、Pt、In、Cr、Ti等を使用し、蒸着した金属膜を500℃以上の温度で熱処理することにより、金属の昇華を引き起こし、膜厚を0.001μm~1μmと薄くすることにより透光性を持たせることができることが記載されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】金属を用いた透光性の薄膜では、金属膜を非常に薄く形成する必要がある。例えば、透光性の電極としてAuを用いた場合、光の透過率を30%としたければ膜厚は約25nmに制御する必要があり、90%の透過率を実現しようすれば、膜厚は約2nmにする必要がある。Niを用いた場合には、透過率30%としたければ膜厚は約13nm、90%としたければ、約1.5nmとする必要がある。なお、本明細書において「透光性の電極」とは、電極の下で発生した発光を電極を通して観察可能である電極を指して用いることとする。

【0006】また、多くの発光半導体素子の作製におい

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体表面に接して形成され、透光性でかつオーム接触が得られる、Au、Pt、Pd、Ni、Al、Tiからなる群より選ばれた、少なくとも1種類の金属あるいは2種類以上の金属の合金よりなる第1の層と、該第1の層上に形成された、Ni、Ti、Sn、Cr、Co、Zn、Cu、Mg、Inよりなる群より選ばれた少なくとも1種類の金属の酸化物を含む、透光性の金属酸化物よりなる第2の層とを有する発光半導体素子用透光性電極。

【請求項2】 Auよりなる第1の層と、Niの酸化物よりなる第2の層とを有することを特徴とする請求項1記載の発光半導体素子用透光性電極。

【請求項3】 前記第2の層と第1の層との界面近傍の領域において、酸素の組成が第2の層から第1の層に向かって徐々に減少することを特徴とする請求項1乃至2記載の発光半導体素子用透光性電極。

【請求項4】 前記第2の層を構成する金属酸化物の主成分である金属元素が第1の層中に含まれていることを特徴とする請求項1乃至3記載の発光半導体素子用透光性電極。

【請求項5】 前記第1の層の膜厚が1nm以上500nm以下であることを特徴とする請求項1乃至4記載の発光半導体素子用透光性電極。

【請求項6】 前記第2の層の膜厚が1nm以上1000nm以下であることを特徴とする請求項1乃至5記載の発光半導体素子用透光性電極。

【請求項7】 半導体がGaN系化合物半導体であることを特徴とする請求項1乃至6記載の発光半導体素子用透光性電極。

【請求項8】 半導体表面に接して透光性でオーム接触が得られる金属薄膜からなる第1の層を形成する第1の工程と、第1の層上に金属からなる第2の層を形成する第2の工程と、これを熱処理することによって第2の層を酸化する第3の工程を有する発光半導体素子用透光性電極の作製方法。

【請求項9】 前記第1の工程と第2の工程とを同一装置内で連続して行うことの特徴とする請求項8記載の発光半導体素子用透光性電極の作製方法。

【請求項10】 前記第3の工程を酸素を含む雰囲気内で行うことを特徴とする請求項8乃至9記載の発光半導体素子用透光性電極の作製方法。

【請求項11】 前記第3の工程において、熱処理は温度300℃以上の温度で1分以上行うことを特徴とする請求項8乃至10記載の発光半導体素子用透光性電極の作製方法。

【請求項12】 半導体がGaN系化合物半導体であることを特徴とする請求項8乃至11記載の発光半導体素子用透光性電極の作製方法。

## 【発明の詳細な説明】

ては、金属の電極を形成した後オーミック接触を実現する目的で熱処理を行うことが必要である。しかし、上記のような非常に薄い金属薄膜を用いた電極の場合、オーミック接触を目的とした熱処理の際に、下地との密着性よりも金属の表面張力がまさるために金が球状に凝集してしまう「ボールアップ」と呼ばれる現象を生じる。ボールアップが発生すると、金の薄膜は随所に隙間や亀裂を生じ、電気的な連続性を失い、透光性の電極として機能しなくなる。

**【0007】** ボールアップを防ぐための手段としては、先ず第一に金属よりなる電極の膜厚を増やすことが挙げられる。しかしながら、膜厚を増加させることは光の透過率の減少を引き起こす結果となり、電極は透光性を失ってしまう。本発明は、透光性でかつボールアップを有效地に防止し得る構造の発光半導体素子用の透光性電極とその透光性電極の作製方法を提供することを目的とする。

#### 【0008】

**【課題を解決するための手段】** 本出願に係わる発明は、半導体表面に接して形成され、透光性でかつオーミック接触が得られる、Au、Pt、Pd、Ni、Al、Tiからなる群より選ばれた、少なくとも1種類の金属あるいは2種類以上の金属の合金よりなる第1の層と、該第1の層上に形成された、Ni、Ti、Sn、Cr、Co、Zn、Cu、Mg、Inよりなる群より選ばれた少なくとも1種類の金属の酸化物を含む、透光性の金属酸化物よりなる第2の層とを有する発光半導体素子用透光性電極である。また本出願に係わる発明は、上記発光半導体素子用透光性電極において、特に、Auよりなる第1の層と、Niの酸化物よりなる第2の層とを有することを特徴とする。

**【0009】** また本出願に係わる発明は、上記発光半導体素子用透光性電極において、特に、前記第2の層と第1の層との界面近傍の領域において、酸素の組成が第2の層から第1の層に向かって徐々に減少することを特徴とする。また本出願に係わる発明は、上記発光半導体素子用透光性電極において、特に、前記第2の層に含まれる金属酸化物の主成分である金属元素が第1の層中に含まれていることを特徴とする。

**【0010】** また本出願に係わる発明は、上記発光半導体素子用透光性電極において、特に、前記第1の層の膜厚が1nm以上500nm以下であることを特徴とする。また本出願に係わる発明は、上記発光半導体素子用透光性電極において、特に、前記第2の層の膜厚が1nm以上1000nm以下であることを特徴とする。また本出願に係わる発明は、上記発光半導体素子用透光性電極において、特に、半導体がGaN系化合物半導体であることを特徴とする。

**【0011】** また本出願に係わる発光半導体素子用透光性電極の作製方法は、半導体表面に接して透光性でオーミック接触が得られる金属薄膜からなる第1の層を形成する第1の工程と、第1の層上に金属からなる第2の層を形成する第2の工程と、これを熱処理することによって第2の層を酸化する第3の工程を有する発光半導体素子用透光性電極の作製方法である。

ミック接触が得られる金属薄膜からなる第1の層を形成する第1の工程と、第1の層上に金属からなる第2の層を形成する第2の工程と、これを熱処理することによって第2の層を酸化する第3の工程を有する発光半導体素子用透光性電極の作製方法である。

**【0012】** また本出願に係わる発明は、上記発光半導体素子用透光性電極の作製方法において、特に、前記第1の工程と第2の工程とを同一装置内で連続して行うことを特徴とする。また本出願に係わる発明は、上記発光半導体素子用透光性電極の作製方法において、特に、前記第3の工程を酸素を含む雰囲気内で行うことを特徴とする。また本出願に係わる発明は、上記発光半導体素子用透光性電極の作製方法において、特に、前記第3の工程において、熱処理は温度300°C以上の温度で1分以上行うことを特徴とする。また本出願に係わる発明は、上記発光半導体素子用透光性電極の作製方法において、特に、半導体がGaN系化合物半導体であることを特徴とする。

#### 【0013】

**【発明の実施の形態】** 本発明に係わる発光半導体素子用透光性電極は、半導体表面上に形成された透光性の金属からなる第1の層と、該第1の層上に形成された、透光性の金属酸化物を含む第2の層とを有することを特徴とする。半導体がp型の場合、半導体に接触させる第1の層を形成する金属として、熱処理して良好なオーミック接触を得ることができるAu、Pt、Pd、Niなどから選ぶことができる。また、これらの金属の内の少なくとも2種類を組み合わせた合金を用いてもよい。また、良好なオーミック接触を得るために、これらの金属に対してZn、Ge、Sn、Be、Mg等の金属を少なくとも1種類以上不純物として微量添加した合金を使用しても良い。一方、半導体がn型の場合、前記第1の層を形成する材料としてAl、Ti、Niなどを用いることができる。また、これらの金属の内の少なくとも2種類を組み合わせた合金を用いてもよい。また、良好なオーミック接触を得るために、これらの金属にSi、Ge、Sn、S、Seなどの金属を少なくとも1種類以上不純物として微量添加した合金を使用しても良い。

**【0014】** 第2の層に含まれる金属酸化物としては、比較的透光性に優れかつ金属との密着性に優れる酸化物である、Ni、Ti、Sn、Cr、Co、Zn、Cu、Mg、Inよりなる群より選ばれた少なくとも1種類の金属の金属酸化物を用いることができる。特に、その中でも透光性であることが広く知られているNiO、TiO、SnO、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CoO、ZnO、Cu<sub>2</sub>O、MgO、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>など、またはこれらの金属酸化物に他の金属元素が共存した酸化物を主成分とすることは有用である。また、酸化物は下地の金属に合わせて、密着性の良いものを選ぶことが好ましい。本明細書において「金属酸化物」という言葉は、金属の酸化数の異なる酸

化物の混合物を指して用いることとし、また、その中には酸化されていない金属が含まれていても構わないこととする。しかし、第2層は透光性を発揮することが特徴であるので、組成の異なる酸化物のうち、最も透光性となりやすい材料が主成分となっていることが有利であることは言うまでもない。Niを例にとって説明すると、Niの酸化物としてはNiO、Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、NiO<sub>2</sub>、Ni<sub>3</sub>O<sub>4</sub>などが存在することが知られているが、第2層を構成する材料の組成は、これらの内のどれであっても良いし、これらの混合物であっても良い。また、酸化されていない金属であるNiそのものが含まれていても構わない。しかしながら、ここに例示した数種類の酸化物のうち、最も有効に透光性を発揮することが知られているのはNiOであり、第2層としてはNiOが主成分であることが有利なことは言うまでもない。

【0015】金属からなる第1の層と透光性の金属酸化物よりなる第2の層とは、密着性に優れることが好ましい。そのため、上記発明において、発光半導体素子用透光性電極は、前記第2の層と第1の層との界面近傍の領域において、酸素の組成が第2の層から第1の層に向かって徐々に減少し、金属酸化物を含む組成から金属からなる組成に、組成が連続的に変化することが望ましい。また、第1の層内に第2の層に含まれる金属酸化物の金属成分が含まれていることも、第1の層と第2の層の高い密着性を実現するためには好適である。第1の層中の第2の層の成分の濃度は第1の層全体を通して一定でも構わないし、第2の層との界面から半導体表面に向かって濃度が小さくなっていくように勾配をつけられていても構わない。また、第2の層の成分は第1の層全体に含まれていても良いし、第2層との界面側の一部分だけに含まれていても良い。

【0016】第1の層の膜厚は、透光性を得るために1nmから500nmの範囲の膜厚に制御して形成することが好ましい。その中でも、金属に固有の物性値である吸光係数から計算して、光の透過率が10%から90%を実現するような膜厚を採用することが好ましい。また、第2の層の膜厚は透光性を実現し、ボールアップ防止効果に優れ且つ透光性の良好な、1nmから1000nmの範囲にすることが好ましい。

【0017】また、第2の層を形成するための金属酸化物として、先に挙げた透光性の金属酸化物の群より、特に導電性を示す金属酸化物であるNiO、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SnO、ZnO、MgOよりなる群より、少なくとも1種類の金属酸化物を選択することができる。また、この群を構成する導電性の金属酸化物群のうち、In-Sn-Oの様に、2種類の金属元素を含むような酸化物を用いても良いし、この群を構成する金属元素以外の金属元素が共存していても構わない。ここに挙げたような導電性の金属酸化物を、第1の層である金属電極層を保護するための第2の層として用いると、保護層の部分にも電流が

流れることが可能であり、電極全体の抵抗率が低下する。このことは素子とした際の両電極間の抵抗値が低減されることを意味し、絶縁体の保護層を用いた場合と比較して、同じ印加電圧でより多くの電流を流すことが可能である。これにより、同じ印加電圧でより強い発光強度を得ることができる。

【0018】上記の電極は、金属からなる第1の層および金属からなる第2の層を形成させておき、酸素を含む雰囲気中で熱処理することにより、表面側の金属からなる第2の層を酸化する方法によって形成することができる。酸素を含む雰囲気とは、酸素ガス(O<sub>2</sub>)や水蒸気(H<sub>2</sub>O)等を含む雰囲気である。

【0019】すなわち、上記の発光半導体素子用電極は、金属からなる第1の層の上に、Ni、Ti、Sn、Cr、Co、Zn、Cu、Mg、Mnなどの金属からなる第2の層を形成して、これを酸素を含む雰囲気中で温度300℃以上で1分以上熱処理することにより作製することができる。熱処理の温度及び時間は、酸化させようとする金属に応じて選択する必要がある。我々の検討によれば、本発明において使用できる金属では、全般的に300℃以下の温度では如何に長時間の処理を行ったとしても完全に均一に酸化することはなかった。処理温度は高い方が安定して金属を酸化できるため、300℃以上のどのような温度を用いても良いが、半導体が分解しないような温度とすることは当然である。また、我々の検討によれば、熱処理を行う時間として1分以下では、上記の範囲で選択される如何なる高温で処理しても完全に均一に酸化することはなかった。よって、熱処理は1分以上行うことが望ましい。雰囲気ガス中の酸素の濃度は、0以上であればどのような値をとっても良いが、1ppm以上であることが好ましい。

【0020】また、前述の第1の層に第2の層の成分が含まれている電極構造を形成するためにも、熱処理によって第2の層の成分を第1の層へ拡散させることが有効である。この時、第2の層を酸化させるための熱処理を、第2の層の成分を第2の層より第1の層に拡散させる熱処理と兼ねることができる。また、第2の層を酸化させるための熱処理を、半導体と金属からなる第1の層とのオーミック接触を得るための熱処理と兼ねて実施することができる。或いは、第2の層を酸化させるための熱処理と半導体と金属からなる第1の層とのオーミック接触を得るための熱処理とを別々の工程で行ってよい。

【0021】また金属膜を形成する方法としては、通常の抵抗加熱蒸着法の他、電子線加熱蒸着法、スパッタリング法などを用いることができる。また、第1の層と第2の層は同一装置で連続して形成しても良いし、第1の層を形成した時点でいったん装置から取り出し、別の方法によって第2の層を形成しても良いが、密着性の向上という観点から第1の層と第2の層とは同一装置内で連

続して形成することが好ましい。第1の層の上に第2の層となる金属の層を順次積層した電極は、例えば蒸着したままでは金属光沢を呈する濃い色の膜であるが、熱処理による酸化により第2の層となる金属の層が金属酸化物となり透光性を示す。

**【0022】** 金属層と金属酸化物層の平面形状は同じでも良いし、異なっても構わないが、金属層の部分は金属酸化物で覆われていることがより好ましいことは言うまでもない。また、金属酸化物よりなる第2の層は金属よりなる第1の層を完全に覆って、それよりも大きい領域を覆うことができるが、反対側の電極と接触していることは好ましくない。第2層を形成する金属酸化物は、導電性の材料を用いることも可能であり、導電性の材料を第2層として用いた場合に第2の層が両側の電極に接触していると、両側の電極が第2の層を通じて導通してリーク電流を生ずる可能性がある。

**【0023】** 本発明に係わる発光半導体素子用透光性電極およびその作製方法は、発光半導体素子において電極から横方向への電流拡散が小さい、半導体がGaN系化合物半導体の場合に特に有効に用いることができる。GaN系化合物半導体は一般にAlGaNで表すことができる。

#### 【0024】

**【作用】** 本発明の提供する発光半導体素子用電極は、透光性を有し半導体層にオーミック接触する金属薄膜からなる第1の層と、第1の層の表面に形成された、透光性を有し、かつ第1の層と半導体層のオーミック接触を実現するための熱処理に際して、第1の層のボールアップを抑制する、透光性のある金属酸化物を主成分とする第2の層とから構成される。透光性の金属酸化物からなる第2の層は、第1の層の保護層として機能する。金属よりなる第1の層の保護層として透光性の金属酸化物からなる第2の層を用いたことにより、第1の層のボールアップを防止し半導体とオーミック接触する透光性の電極を安定して製造することが可能となった。またこの時、第2の層の主成分として第1の層と密着性の良い材料を選定したり、第2の層と第1の層との間に酸素の組成割合を設けたり、第1の層中に第2の層に含まれる金属を拡散させたりすることにより、第1の層と第2の層の間の密着性を向上することができる。この密着性を向上した構成により、金属からなる第1の層と金属酸化物からなる第2の層との剥離を有效地に防止することができるため、発光半導体素子が安定的に生産できる。

**【0025】** また、本発明の提供する発光半導体素子用透光性電極の作製方法は、半導体とオーミック接触する金属の薄膜よりなる第1の層と、熱処理によって第2の層となる金属の層を形成しておき、これを酸素を含む雰囲気中で熱処理することにより第2の層となる金属の層を金属酸化物の第2の層とし、透光性を増大させる。これにより、簡便に透光性の電極を製造することができ

る。また、第2の層となる金属の層を酸化するための熱処理は、第1の層のオーミック接触を実現させるための熱処理と兼ねることができる。

#### 【0026】

##### 【実施例】

(実施例1) 本発明に係わる発光半導体素子用透光性電極の一例は、図3の断面図で示すような、サファイア基板上に、AlNをバッファ層として、n型GaN層、InGaN層、p型AlGaN層、p型GaN層を順に積層した半導体基板9のp型GaN層上に、Auからなる第1の層10、Niの酸化物からなる第2の層11を形成して作製した電極である。なお図3で7はp側電極ボンディング用パッド、8はn側電極である。また図2は、図3で示した発光半導体素子用電極の平面図であり、6で示した部分が本発明に係わる透光性電極である。

**【0027】** 図2、図3に示した発光半導体素子用透光性電極は、次の手順で作製した。初めに、公知のフォトリソグラフィー技術を用い、p型GaN層上にAuBe/Au層構造よりなるp側電極ボンディング用パッド7を形成した。続いて、公知のフォトリソグラフィー技術及びリフトオフ技術を用いて、p型GaN層上の透光性電極を形成する領域にのみ、Auからなる第1の層10およびNiの酸化物からなる第2の層11を形成した。第1の層10および第2の層11の形成では、まず、半導体基板9を真空蒸着機に入れ、p型GaN層上に圧力 $3 \times 10^{-6}$  Torrにおいて初めにAuを25nm、続いて同じ真空室内でNiを10nm蒸着した。AuとNiを蒸着した基板は、真空室から取り出した後、通常リフトオフと呼ばれる手順に則って処理し、図2の6で示す形状の薄膜を形成した。このようにしてp型GaN層上には、Auからなる第1の層とNiからなる第2の層とからなる薄膜が形成された。この薄膜は金属光沢を呈する暗灰色であり、透光性はほとんど見られなかった。次に、この基板をアニール炉において熱処理した。熱処理は、温度を550℃とし、雰囲気ガスとして、1%の酸素ガスを含むアルゴンを流通して、10分間処理した。取り出した基板の透光性電極6は、青味をおびた暗灰色で、透光性を示していた。なお、この熱処理は電極と半導体とのオーミック接触を得るために熱処理も兼ねていた。

**【0028】** 上記の方法により作製した透光性電極の波長450nmの光における透過率は45%であった。なお、透過率は、上記と同じ透光性電極を透過率測定用の大きさに形成したもので測定した。また、オージェ電子分光(AES)により、透光性電極の深さ方向の成分分析を行った。熱処理の前後で透光性電極の膜厚に大きな変化はなかったが、オージェ電子分光(AES)によつてNiからなる第2の層に大量の酸素が取り込まれており、Niの酸化が起きていることが判った。AESによ

り測定した電極の各元素の深さ方向プロファイルを図1に示す。図1に示した上記の電極の組成の深さ方向プロファイルより、第2の層はNiと酸素を含むNiの酸化物からなり、第1の層は僅かにNiを含むAuからなり、第1の層と第2の層との界面近傍の領域には、Oの濃度が基板方向に向かって小さくなるように組成勾配がつけられた組成勾配領域が存在することがわかる。

【0029】また、一般的な薄膜X線回折(XRD)法によってNiの酸化物からなる第2の層11を評価したところ、図4に示すようなスペクトルを示した。ピークの位置から、スペクトルにはNiOの(111)、(200)、(220)、(311)面からの回折にそれぞれ相当するピーク12、14、16、18が見られ、第2の層11はNiOのランダムな方向を向いた結晶からなっていることが判った。また、このスペクトルには、微弱ながらNiの(111)面からの回折ピーク15も検出されていた。また、第1の層10を形成するAu(111)、(220)面からの回折ピーク13、17も見られた。のことから、NiOの結晶粒の集合体の中に少量のNiの結晶粒が混在しているものと考えられる。のことより、第2の層11はNiOと少量のNiよりもなることが判った。

【0030】ドライエッティングによってn電極を形成する部分のn層を露出させ、p側電極の形成に統いて、露出した部分にAlよりなるn側電極8を形成し、n側電極8のオーミック接触を形成するための熱処理を行つた。このようにして電極を形成したウエハを400μm角のチップに切断し、リードフレーム上に載置し結線して発光ダイオードとしたところ、電流20mAにおける発光出力が80μW、順方向電圧は3.2Vを示した。また、2インチφの基板から16000個のチップが得られ、発光強度が76μWに満たないチップを取り除いたところ、収率は98%であった。通電発光している状態の透光性電極を顕微鏡により観察したところ、各チップの透光性電極の発光は均一であり、ボールアップによる発光面積の低下は見られなかった。

【0031】(実施例2)本発明に係わる発光半導体素子用透光性電極の一例は、図6の断面図で示すような、サファイア基板上に、AlNをバッファ層として、p型GaN層、p型AlGaN層、InGaN層、n型GaN層に、Alからなる第1の層10、Tiの酸化物からなる第2の層11を形成して作製した電極である。なお図6で7'はp側電極、8'はn側電極用ボンディングパッドである。また図5は、図6で示した発光半導体素子用電極部の平面図であり、6で示した部分が本発明に係わる透光性電極である。

【0032】図5、図6に示した発光半導体素子用透光性電極は、実施例1と同様に、次の手順で作製した。初めに、公知のフォトリソグラフィー技術を用い、n型G

a N層上にAlよりなるn側電極用ボンディングパッド8'を形成した。続いて、公知のフォトリソグラフィー技術及びリフトオフ技術を用いて、n型GaN層上の透光性電極を形成する領域にのみ、Alからなる第1の層10およびTiの酸化物からなる第2の層11を形成した。第1の層10および第2の層11の形成では、まず、半導体基板9を真空蒸着機に入れ、圧力 $3 \times 10^{-6}$  Torrにおいて、n型GaN層上にAlを5nm蒸着した後基板を蒸着装置から取り出し、続いて別の蒸着装置内でTiを50nm蒸着した。AlとTiを蒸着した基板は、真空室から取り出した後、通常リフトオフと呼ばれる手順に則って処理し、図2の6で示す形状の薄膜を形成した。このようにして、n型GaN層上には、Alからなる第1の層とTiからなる第2の層となる金属層を有する薄膜が形成された。この薄膜は金属光沢を呈する銀色であり、透光性はほとんど見られなかった。次にこの基板を、アニール炉において雰囲気ガスとして酸素20%を含む窒素中で650℃にして15分間熱処理した。熱処理後の薄膜電極部分を光学顕微鏡で観察すると、金属光沢を失っており黄色みを帯びた透光性を示した。なお、この熱処理は電極と半導体とのオーミック接觸を得るために熱処理を兼ねている。

【0033】上記の方法により作製した透光性電極は、熱処理の前後で膜厚の変化はなく、薄膜電極部分の波長450nmの光の透過率は30%であった。AESおよび薄膜XRDの測定結果より、Ti層は酸化されてTiOとなっていた。更に、実施例1に記述したのと同様の方法で、ドライエッティングにより露出したp型層上にAuBe、Auよりなるp側電極7'を形成した。この基板を切断、マウント、結線して発光素子とした。作製された発光ダイオードは、電流20mAにおける発光出力が80μW、順方向電圧は3.2Vを示した。また、2インチφの基板から16000個のチップが得られ、発光強度が76μWに満たないチップを取り除いたところ、収率は96%であった。各チップの透光性電極の発光は均一であり、ボールアップによる発光面積の低下および発光強度の不均一は見られなかった。

【0034】(比較例1)実施例1と同じ積層構造を持つ半導体基板に、単層のAu25nmのみからなる透光性の電極を蒸着装置を用いて形成した。更に、p-GaN層とのオーミック接觸を実現する目的で、アルゴンガス雰囲気中で550℃において10分間熱処理した。熱処理後、透光性電極面は透光性が増したよう見えるが、金属光沢を失っていた。この半導体基板から作製された発光ダイオードはボンディング用の電極の直下だけが発光し、透光性の電極面には発光が見られなかった。光学顕微鏡による観察によると、透光性電極として形成したAuの薄膜はボール状に凝集しており、薄膜としての連続性を欠いていた。

【0035】(比較例2)実施例1と同じ積層構造を持

つ基板に、実施例1に作成した電極と蒸着する順番を逆にした金属薄膜電極、すなわち初めにNi 10 nm、続いてAu 25 nmを、同じ蒸着装置内で連続して形成した。これを酸素を1%含むアルゴンガス雰囲気中で550°Cにて10分間熱処理した。熱処理後の電極のAES深さ方向プロファイルを図7に示す。有意な量の酸素が検出されないことより、Ni層は酸化されていないことが判った。これは、Auによって表面を覆われているためと思われる。電極はやや透光性を示すものの金属光沢のある金色を呈し、透過率は10%と低かった。このような手順で形成された薄膜電極を持つ発光ダイオードを、実施例1と同様にして作製した。作製された発光ダイオードの20mAにおける順方法電圧は平均で3.0Vと実施例1と同等であったが、発光強度は20μWと実施例1よりも著しく小さかった。

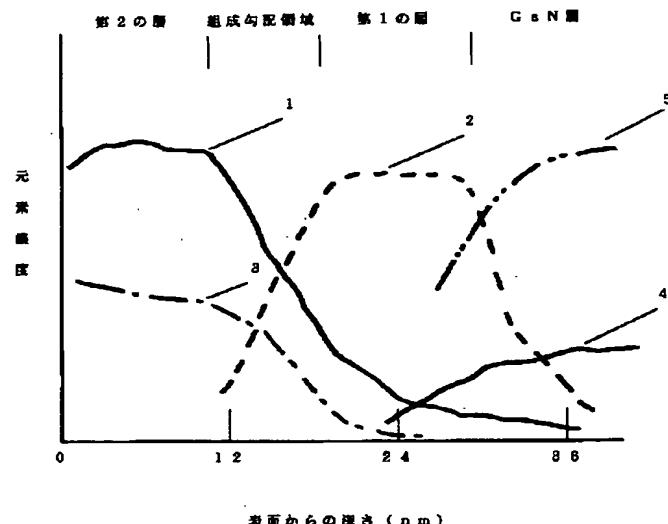
## 【0036】

【発明の効果】本発明によれば、透光性でかつボールアップを有効に防止し得る構造の発光半導体素子用の透光性電極とその透光性電極の形成方法を提供することができる。

【0037】なお、本発明における実施例は前記の2例に限られるものではなく、例えば、p型半導体に対する第1の層としてはPt、Ni、Ptなどを用いることができ、n型半導体に対する第1の層としてはTi、Al、Niなどを用いることができる。また、第2の層としては、Co、Sn、Cr、Zn、Cu、Mg、Inなどの金属を含む酸化物の層を用いることができる。また、発光素子となる半導体材料としても本実施例に記述したGaNの他にGaAs、GaP、InGaAs、AlInGaPなどを用いることもできる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】



【図1】実施例1で作製した電極のオージェ電子分光による各元素の深さ方向プロファイルを示した図。

【図2】実施例1に係わる電極の形状の平面図。

【図3】実施例1に係わる電極の積層構造の断面図。

【図4】実施例1に係わる電極の薄膜XRDスペクトル。

【図5】実施例2に係わる電極の形状の平面図。

【図6】実施例2に係わる電極の積層構造の断面図。

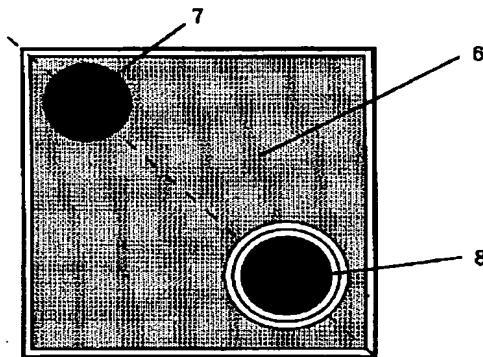
【図7】比較例2で作製した電極のオージェ電子分光による各元素の深さ方向プロファイルを示した図。

## 【符号の説明】

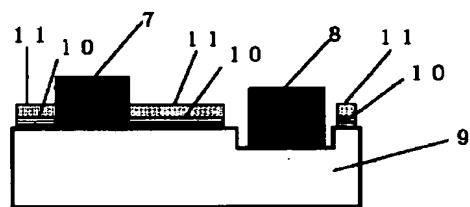
- 1 . . . Ni のプロファイル
- 2 . . . Au のプロファイル
- 3 . . . O のプロファイル
- 4 . . . Ga のプロファイル
- 5 . . . N のプロファイル
- 6 . . . 透光性電極
- 7 . . . p 側電極用ボンディングパッド
- 7' . . . p 側電極
- 8 . . . n 側電極
- 8' . . . n 側電極用ボンディングパッド
- 9 . . . 半導体基板
- 10 . . . 第1の層
- 11 . . . 第2の層
- 12 . . . NiO (111) のピーク
- 13 . . . Au (111) のピーク
- 14 . . . NiO (200) のピーク
- 15 . . . Ni (111) のピーク
- 16 . . . NiO (220) のピーク
- 17 . . . Au (220) のピーク
- 18 . . . NiO (311) のピーク

BEST AVAILABLE COPY

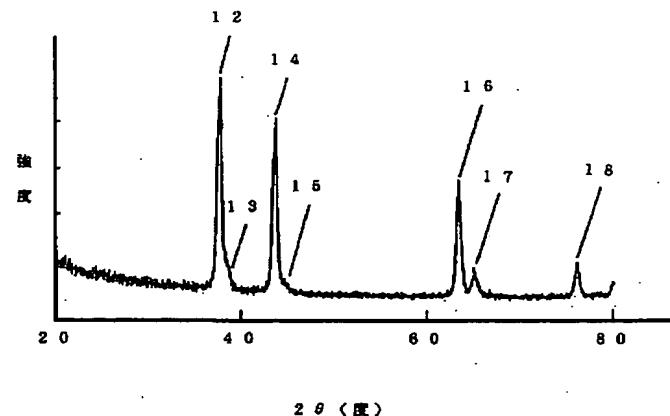
【図2】



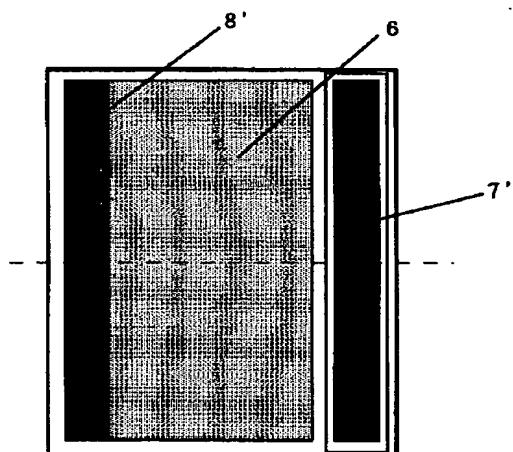
【図3】



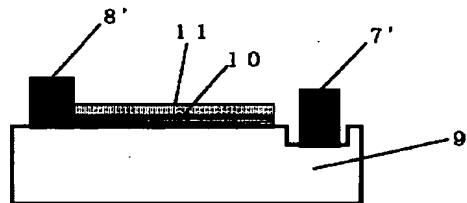
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

